

На правах рукописи



ЕГОРОВА Ирина Петровна

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БАРИТА КАК ИНДИКАТОРЫ
ГЕНЕТИЧЕСКОГО ТИПА БАРИТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Специальность 25.00.05 - минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Казань, 2011

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых» (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Евгений Михайлович Аксенов

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Бахтин Анатолий Иосифович

доктор геолого-минералогических наук
Ожогина Елена Германовна

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Пермский государственный университет»

Защита состоится «6» октября 2011 г. в 14.30 часов на заседании Диссертационного совета Д 212.081.09 при Казанском федеральном университете по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, 4/5, КФУ, институт геологии и нефтегазовых технологий, ауд. 211

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского федерального университета

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим присылать по адресу: 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18, Казанский федеральный университет, служба аттестации научных кадров, факс: (843)2387601.

Автореферат разослан «1» сентября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



к.ф.-м.н. А.А. Галеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Барит входит в перечень остродефицитных полезных ископаемых, которые используются широким кругом отраслей промышленности. В силу чего работы по поиску и оценке баритовых месторождений и исследования в области познания генезиса барита, которым в значительной мере определяется выбор методики проведения геологоразведочных работ, всегда актуальны. Частью работ по определению генезиса полезного ископаемого, в том числе и барита, является изучение его типоморфных свойств (или особенностей), чему и посвящены исследования автора.

Условия, в которых протекают процессы минералообразования, отражаются: в особенностях состава индивида, продуктов его изменений, микровключений, а также морфологии, кристаллического строения, физических свойств и др., которые принято называть типоморфными.

Типоморфные свойства наиболее отчетливо выражены у минералов, сохраняющих стабильность в весьма широком диапазоне физико-химических условий, а потому проявляющихся в самых различных генетических типах месторождений. К числу таких минералов относится барит, вариации типоморфных особенностей которого являются важнейшими индикаторами условий формирования не только баритовых, но и многих комплексных месторождений.

Изучением разных типоморфных свойств барита занимались: С.И. Изюмский и др. (1967), В.С. Андреев и др. (1972), А.И. Бахтин и др. (1973), Р.А. Хасанов и др. (1974, 1980, 1981), Н.И. Замятин (1974), В.Г. Кривовичев и др. (1975, 1979), С.Н. Петрова (1977, 1978, 1979, 1980), Г.Г. Ахманов и др. (1977, 1978, 1985, 1986, 1988, 1990), В.И. Виноградов и др. (1978), Н.П. Юшкин и др. (1978, 2002), Т.И. Таранина и др. (1979, 1980, 1981, 1982, 1983), А.И. Гомелаури и др. (1980), Н.Е. Учамейшвили и др. (1980, 1986), Л.Н. Гриненко и др. (1981), С.Д. Малинин и др. (1983), Н.В. Грановская (1984), Г.Н. Астахов и др. (1985), В.И. Силаев и др. (1985, 1986), Б.С. Горобец и др. (1985, 1986), Н.В. Любченко и др. (1986), В.С. Знаменский и др. (1986), Е.Н. Шляпкина и др. (1986), В.В. Кулинич и др. (1986, 1990), А.Г. Твалчиридзе и др. (1990) и другие. Авторами, как правило, различными

методами изучались баритовые руды отдельных месторождений и в разных регионах. Полученные при этом сведения зачастую несопоставимы, нередко носят противоречивый характер, в силу чего, использование типоморфных особенностей барита до сих пор не находит должного применения в геологической практике.

В настоящее время отсутствует обобщающая работа, которая раскрывала бы значимость отдельных типоморфных признаков барита и возможности использования их в прикладных целях.

Работы по изучению типоморфных признаков барита могут значительно повысить информативность генетических исследований и способствовать решению практических геологических задач.

Цель работы - определить типоморфные признаки барита, которые наиболее эффективны при установлении генезиса баритового оруденения.

Задачи работы

1. Провести анализ результатов изучения типоморфных свойств барита.
2. Выявить степень информативности использования различных типоморфных признаков для определения генезиса барита.
3. Определить типоморфные признаки, которые с наибольшей эффективностью могут быть использованы для выяснения генетической принадлежности баритового оруденения.

Фактический материал

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском институте геологии нерудных полезных ископаемых (ФГУП «ЦНИИГеолнеруд») в рамках проводимых институтом исследований по изучению баритоносности территории бывшего СССР и России.

Объектами диссертационного исследования являлись руды баритовых месторождений трех промышленно значимых генетических типов: гидротермально-осадочного, гидротермального (жильного) и гидротермально-метасоматического.

Первый тип представлен рудами месторождений Кузнецкого Алатау, Полярного и Южного Урала, Каратау, Прибалхашья; второй - рудами месторождений Кузнецкого Алатау, Южного Урала, Приморья, Кавказа, Каратау,

Рудных гор Германии и Вьетнама; третий - рудами месторождений Пай-Хоя, Полярного Урала, Каратау, Центрального Казахстана.

В процессе исследований изучено более тысячи штучков и шлифов; в работе использованы данные химических (89 проб), радиометрических (103 пробы), изотопных (35 проб), рентгенографических (3 пробы), термобарометрических (40 образцов) анализов и электронного парамагнитного резонанса (107 проб), а также результаты изучения типоморфных свойств барита, опубликованные в печати.

Методика исследований

Для определения вещественного состава баритовых руд автором были проведены макро- и микроскопические исследования. Из отобранных и изученных образцов руд выделялись мономинеральные фракции барита. Монофракции получены либо методом отбора под биноклем (при близком составе к мономинеральному) или в лаборатории минералого-петрографических и физико-механических исследований: обработка в 5-10% соляной кислоте в течение суток, разделение минералов в тяжелых жидкостях, использование магнитной и электромагнитной сепарации с последующей проверкой чистоты монофракций барита под биноклем. Всего выделено 359 монофракций барита различного генезиса: гидротермально-осадочного (211); гидротермального (88) и гидротермально-метасоматического (60). Выделенные мономинеральные фракции исследовались физическими и химическими методами.

Основной объем аналитических исследований выполнен в «ЦНИИГеолнеруд», в лабораториях физико-химических методов анализа и пробоподготовки (ЛФХМАиП), фазового минералогического анализа и радиационной оценки (ЛФМАиРО) в соответствии с нормативно-методическими документами НСАМ и НСОММИ. Для решения поставленных задач были использованы следующие методы исследования:

- *макро- и микроскопическое изучение* для установления минерального состава и текстурно-структурных особенностей баритовых руд;
- *химический анализ* для определения компонентов (фотометрический метод, метод атомной абсорбции, метод атомной эмиссии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП), метод ICP спектрометрия);

- *радиометрический анализ* для определения радиоактивности;
- *метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР)* для определения наличия и концентрации парамагнитных центров;
- *рентгенографический анализ* для определения параметров элементарной ячейки;
- *метод термоакустической декрепитации* для оценки температур образования баритов.
- *метод дифференциальной термической гравиметрии* для коррекции данных термоакустической декрепитации при изучении ГЖВ.

Часть исследований была выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья (ФГУП «ВИМС») и Казахском научно-исследовательском институте минерального сырья (КазИМС).

В ФГУП «ВИМС» были проведены микроскопические и термометрические исследования газовой-жидких включений в 15 образцах. Изучение жидкой фазы проводилось с помощью тройной водной вытяжки, газовой фазы – газохроматографическим методом.

В КазИМСе определялся изотопный состав серы (35 образцов), а также температуры газовой-жидких включений методами гомогенизации и декрепитации (акустический анализ) в 9 образцах.

Научная новизна работы.

1. Впервые выполнена сравнительная оценка информативности типоморфных признаков баритов для определения генезиса баритового оруденения: текстуры и структуры баритовых руд, морфология кристаллов барита, твердость, окраска, газовой-жидкие включения (ГЖВ), изотопный состав серы, наличие и распределение изоморфных примесей (стронций и редкоземельные элементы), радиоактивность, люминесцентные свойства, параметры элементарной ячейки, наличие и концентрация парамагнитных центров.

2. По степени информативности выделены три группы признаков:

- признаки, характеризующиеся конвергентностью (одни и те же характеристики – значения наблюдаются в баритах, образование которых происходило в различных условиях), в силу чего получаемая при их изучении информация не позволяет сделать однозначный вывод о генезисе: текстуры и

структуры баритовых руд, морфология кристаллов, твердость, изотопный состав серы, ГЖВ;

- признаки, объем имеющихся исследований, по которым в настоящее время недостаточен, чтобы объективно определить степень их информативности: наличие и концентрации в барите РЗЭ, люминесцентные свойства и параметры элементарной ячейки;

- признаки высокой степени информативности, дающие однозначную и достоверную информацию об условиях образования барита: барий-стронциевый модуль (Ba/Sr), радиоактивность и концентрация ион-радикала SO_3^- .

3. Определены количественные параметры (диапазон значений) типоморфных признаков высокой степени информативности для баритов разного генезиса: 1) *гидротермального*: Ba / Sr модуль – от 10,5 до 69,14; радиоактивность (α -акт. $n \cdot 10^{-4}\%$ в экв. U) - от 0 до 0,7; концентрация ион-радикала SO_3^- ($n \cdot 10^{14}$ сп/мг) - от следов до 6,84; 2) *гидротермально-метасоматического*: Ba / Sr модуль – от 32,99 до 153,94; радиоактивность (α -акт. $n \cdot 10^{-4}\%$ в экв. U) - от 0,2 до 1,1; концентрация ион-радикала SO_3^- ($n \cdot 10^{14}$ сп/мг) – от 1,44 до 24,2; 3) *гидротермально-осадочного*: Ba / Sr модуль – от 107,89 до 895; радиоактивность (α -акт. $n \cdot 10^{-4}\%$ в экв. U) от 1,0 до 9,9; концентрация ион-радикала SO_3^- ($n \cdot 10^{14}$ сп/мг) от 13,5 до 254.

4. Показано, что для разных регионов характерен свой диапазон значений этих признаков, что определяется особенностями геологического развития регионов и проходивших в них процессов баритообразования. Максимальный диапазон значений наблюдается для баритов Кузнецкого Алатау (Ba/Sr модуль - 10,5 – 895; радиоактивность (α -акт. $n \cdot 10^{-4}\%$ в экв. U) – 0,15 – 9,9; концентрация ион-радикала SO_3^- ($n \cdot 10^{14}$ сп/мг) - следы – 254); минимальный – для баритов Каратау (Ba/Sr модуль – 32,99 – 141,6; радиоактивность (α -акт. $n \cdot 10^{-4}\%$ в экв. U) – 0,5 – 3,2; концентрация ион-радикала SO_3^- ($n \cdot 10^{14}$ сп/мг) – 1,98 - 20,4).

5. Установлена закономерность: количественные параметры признаков высокой степени информативности возрастают в ряду: гидротермальные – гидротермально-метасоматические – гидротермально-осадочные.

6. Эта закономерность характерна для всех изученных провинций, несмотря на наблюдаемые различия числовых значений типоморфных признаков в конкретных регионах.

Практическая значимость.

1. Определены типоморфные признаки барита, которые наиболее эффективны для установления генетической принадлежности изучаемого объекта. Они будут полезны на ранних стадиях геологоразведочных работ при геологической съемке, особенно при картировании «закрытых» территорий, когда барит наблюдается лишь в элювиально-делювиальных развалах или аллювии и для выявления источника барита при изучении месторождений карстового типа.

2. Выявленные признаки были использованы в процессе проведения научно-исследовательских работ при изучении баритоносности Каратау, Прибалхашья, Приморья, Кузнецкого Алатау, а также позволили сделать заключение о генетической принадлежности отдельных баритовых объектов Германии и Вьетнама.

3. Результаты проведенных исследований вошли в качестве отдельных глав, посвященных генезису, в производственные (ПГО «Южказгеология», ОАО «Минусинская ГРЭ») и научно-исследовательские отчеты, выполненные ЦНИИгеолнеруд.

Личный вклад. Геологический материал, положенный в основу диссертации, был собран автором в процессе научных исследований по изучению баритоносности территории России и бывшего СССР. Автором подготовлен каменный материал к исследованиям (в том числе и выделение мономинеральных фракций барита), выполнено макро- и микроскопическое изучение штуфов и шлифов (более тысячи образцов баритовых руд), обработаны, систематизированы и интерпретированы результаты (380): химических, радиометрических, изотопных, термобарометрических анализов и электронного парамагнитного резонанса. Также автором был проанализирован и систематизирован значительный объем материала, приведенного в отечественной и зарубежной литературе.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы были доложены на научной конференции ЦНИИГеолнеруд в г. Казани (1990 г.), XI съезде РМО «Современная минералогия: от теории к практике» (Санкт-Петербург, 2010 г.), X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2011), научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых – состояние и перспективы» (Москва, 2011), а также опубликованы в главах трех монографий; научных статьях (3); тезисах (3) и научных отчетах (7).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из Введения, 4 глав и Заключения. Она содержит 125 страниц текста, 50 рисунков и 17 таблиц. Список литературы включает 119 наименований. Во *введении* обоснована актуальность работы, обозначены цели, задачи, показана научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, сформулированы защищаемые положения. *Первая глава* посвящена общим сведениям о минерале барите: химическом составе; кристаллографической характеристике, физическим, химическим, оптическим свойствам; показаны направления его промышленного использования. Во *второй главе* рассмотрены типоморфные особенности барита и методы их изучения. В *третьей главе* кратко охарактеризованы промышленно значимые генетические типы месторождений барита: гидротермального (жильного), гидротермально-метасоматического и гидротермально-осадочного (Приложения 1 и 2). В *четвертой главе* дается оценка степени информативности типоморфных признаков барита при определении генетического типа баритового оруденения. В *заключении* перечислены основные научные и практические результаты работы.

Благодарности. За неоценимую помощь в написании диссертационной работы, советы, критические замечания и поддержку автор признателен своему учителю – куратору по бариту Г.Г. Ахманову. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю доктору геолого-минералогических наук Е.М. Аксенову. Автор благодарит зав. отделом геологии неметаллических полезных ископаемых В.Г. Чайкина, а также сотрудников лабораторий

(химических методов анализа, минералого-петрографических и физико-механических исследований, фазового минерального анализа, радиационной оценки), где проводились многочисленные анализы, и прежде всего руководителя АТСИЦ ЦНИИгеолнеруд доктора геолого-минералогических наук Т.З. Лыгину. Работа над диссертацией велась в кругу единомышленников и соратников по изучению барита: А.Н. Тюрина, Р.А. Басырова, Т.А. Булаткиной, Н.Г. Васильева, Р.П. Халимовой, постоянную поддержку которых автор ощущала в процессе своих исследований, всем им автор приносит искреннюю благодарность.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

1. Типоморфные признаки барита по степени информативности для определения генезиса баритового оруденения подразделяются на три группы:

- малоинформативные: текстуры и структуры баритовых руд, морфология кристаллов, твердость, изотопный состав серы, ГЖВ характеризуются конвергентностью (одни и те же характеристики – значения наблюдаются в баритах разных генетических типов) и не позволяют сделать однозначный вывод о генезисе;

- признаки: наличие и концентрации в барите РЗЭ, его люминесцентные свойства и параметры элементарной ячейки; объем данных о результатах их изучения недостаточен, чтобы на настоящем этапе исследований объективно определить степень их информативности;

- высокоинформативные: барий-стронциевый модуль, радиоактивность (суммарная активность) и концентрация ион-радикала SO_3^- ; дающие достоверную информацию об условиях образования барита.

Признаки первой группы. Баритовые руды характеризуются значительным разнообразием *текстур и структур*. В гидротермальных рудах чаще встречаются крустификационные, поясовые, друзовые текстуры, из структур – крупнокристаллические; для гидротермально-метасоматических – характерны унаследованные или реликтовые текстуры и структуры; для гидротермально-осадочных – слоистые и конкреционные текстуры и тонко-мелкозернистые, сферолитовые и радиально-лучистые структуры. Однако этот типоморфный признак носит конвергентный характер, что можно наблюдать из материалов,

представленных в таблице 1. Баритовые руды разного генезиса нередко обладают одними и теми же типами текстур и структур.

Морфология кристаллов. Барит редко образует хорошо ограненные крупные кристаллы (таблитчатые, призматические, столбчатые, пластинчатые), которые встречаются, главным образом, в полостях отслоения и растворения первичных, ранее отложенных баритов, где образует друзы и щетки. Как правило, руды баритовых месторождений представляют собой полиминеральные (барит, кварц, кальцит, глинистые и др. минералы) агрегаты, в которых минеральные зерна характеризуются самыми разнообразными формами: идиоморфной, гипидиоморфной, аллотриоморфной, скелетной, реликтовой, обломочной и др. (Табл. 1).

Таблица 1. Текстуры и структуры руд баритовых месторождений разного генезиса

Наиболее распространенные виды текстур и структур	Генетический тип месторождений		
	Гидротермальный	Гидротермально- метасоматический	Гидротермально- осадочный
1	2	3	4
ТЕКСТУРЫ:			
массивная	++	++	++
полосчатая	+	++	++
вкрапленная	++	++	+
пятнистая	++	++	+
оолит-пизолитовая		+	++
брекчиевидная	+	+	+
прожилковая	++	+	+
прожилково-пятнистая	++	++	+
прожилкообразная	+	++	
друзовая	++	+	
СТРУКТУРЫ:			
1.Зернистые:			
аллотриоморфнозернистая	++	++	++
гипидиоморфнозернистая	++	++	++
ориентированнозернистая	++	++	++
радиально-лучистая		+	++
порфировидная		+	+
2.Коррозионные:			
скелетная	+	++	
реликтовая	+	++	
разъедания	+	++	+
3.Кристаллобластические:			
гранобластическая	+	++	
порфиروбластическая	+	++	+
4.Катакластические:			
раздробленная	+	+	+

Примечание: ++ преобладают, + имеют место

Окраска и твердость. Барит в рудах может быть окрашен посторонними примесями в различные цвета: белый или серый (микроскопическими включениями газов и жидкостей), темно-серый и черный (органическим веществом), желтый или бурый (гидрооксидами железа), красный (оксидами железа), иногда голубоватый, зеленоватый и другие оттенки. Для гидротермально-осадочных баритов более характерна, серая, темно-серая до черной окраска, для гидротермальных, напротив, белая, светло-серая.

Твердость (микротвердость) баритов варьирует от 162 до 208 кг/мм². С кристаллохимической точки зрения она зависит от прочности связей атомов в решетке и прямо пропорциональна плотности кристаллической структуры. По сравнению с гидротермальными баритами гидротермально-осадочные за счет большей плотности обладают большей твердостью. В случае если гидротермальные бариты характеризуются мелкозернистыми (плотными) структурами, то различия по твердости не наблюдаются.

Таким образом, можно констатировать, что из всех рассмотренных выше внешних признаков лишь *окраска* в той или иной степени может служить индикатором генезиса барита: для гидротермальных характерны более светлые тона, для гидротермально-осадочных – темные до черного.

Газово-жидкие включения представляют собой законсервированные в полостях минералов реликты минералообразующей среды и температурные условия ее формирования. В исследованных образцах (24) установлено присутствие первичных и вторичных включений, которые подразделяются по фазовому составу на: 1) жидкие однофазовые; 2) двухфазовые газово-жидкие; 3) твердо-жидкие включения.

Анализ литературных источников и полученные в ходе собственных исследований результаты изучения ГЖВ (Табл. 2) показали, что:

- 1) в баритах всех генетических типов наблюдаются как двухфазовые газово-жидкие, так и однофазовые жидкие включения;
- 2) определяемые методами гомогенизации и декрепитации температуры минералообразования даже для объектов одного и того же генетического типа значительно различаются;

3) состав баритообразующих растворов, определяемый методом вытяжки, является усредненным, поскольку в вытяжку переходит содержимое всех включений и полостей, содержащихся в пробе; между тем, помимо первичных, наполненных действительно «реликтовым содержимым», отражающим исходную минералообразующую среду, в кристаллах наблюдаются многочисленные вторичные включения, состав которых характеризует уже другие процессы.

В силу чего выводы о генезисе изучаемого объекта далеко не всегда будут соответствовать реальной действительности.

Таблица 2 Характеристика газовой-жидких включений в баритах различных генетических типов

Регион Месторождение	Характер включений	Температура, T ⁰ C		Состав
		гомоген изации	декрепи тации	
Гидротермальный тип				
<u>Каратау</u> Хатын- Камальское	Двухфазовые газовой- жидкие включения	> 120	110-600	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺ HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ CO ₂ , CO
<u>Бол. Кавказ</u> Чордское ¹⁾	Двухфазовые газовой- жидкие включения	115-40	190-200	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ H ₂ O, CO ₂ , C ₂ H ₄
<u>Сев. Кавказ</u> Белореченское ²⁾	Газово-жидкие и жидкие включения	200-60	40-200	Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , F ⁻ , H ₂ O, CO ₂ , CH ₄ , CO, NH ₃
Гидротермально-метасоматический тип				
<u>Каратау</u> Ансайское доломитовый горизонт	Двухфазовые газовой- жидкие включения	220-170	140-560	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺ HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ CO ₂ , CO
<u>Ц. Казахстан</u> Жайрем ³⁾	Существенно жидкие, твердые, часто многофазовые твердо- жидкие с очень мелкими колеблющимися газовыми пузырьками	160-130	150	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Ca ²⁺ , Na ⁺ SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻ H ₂ O, H ₂ S, CO ₂ , N ₂ , Ar
Гидротермально-осадочный тип				
<u>Каратау</u> Ансайское, II ленточный горизонт	Жидкие однофазовые и двухфазовые газовой- жидкие включения	210-50	40-540	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺ HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ CO ₂ , CO
<u>Кузнецкий</u> <u>Алатау</u> Толчеинское	Жидкие однофазовые и твёрдо-жидкие включения	60-40	Н.о.	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , F ⁻ CO ₂ , CH ₄ , CO, C ₂ H ₄ ,
<u>Прибалхашье</u> Чиганакское	Жидкие однофазовые и двухфазовые газовой- жидкие включения ⁴⁾	120- 100 ⁴⁾	220- 240 ⁴⁾	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , F ⁻ , SO ₄ ²⁻ CO ₂ , CH ₄ , CO, C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂

Примечание: данные ¹⁾ Н.Е. Учамейшвили и др. (1980); ²⁾ Н.В. Грановской (1984); ³⁾ М.Н. Митряевой и др. (1979), ⁴⁾ В.В. Кулинича (1990). Н.о. – не определялась.

Изотопный состав серы. Исследование изотопного состава серы баритов проводится с целью получения представления об источниках серы. Из четырех изотопов серы – S^{32} , S^{33} , S^{34} и S^{36} обычно измеряется отношение $^{32}S/^{34}S$. В качестве основного эталона используется сера троилита из метеорита Каньон Дьябло, за абсолютное отношение изотопов серы которого принята величина $^{32}S/^{34}S = 22,22$. Результаты изотопных анализов серы обычно записываются в виде величины $\delta^{34}S$ ‰, которая показывает насколько изменяется количество тяжелого изотопа S^{34} в исследуемом образце по сравнению с метеоритным стандартом. Если в образце относительное количество S^{34} больше, чем в стандарте, говорят об утяжелении образца, если меньше, то считают, что образец облегчен (В.И. Виноградов, 1967).

Важнейшим концентратором серы является мировой океан, куда сульфат поступает с водами рек. Изотопный состав серы океанического сульфата обладает высокой степенью однородности, что позволяет использовать его наравне с серой троилита в качестве международного стандарта с точно измеренным и выдержанным изотопным составом: $\delta^{34}S = \pm 20,3 \pm 0,3$ ‰ (В.И. Виноградов, 1980).

Основными источниками серы при образовании баритов являются: океанический сульфат и гидротермальные растворы.

Вопрос об источнике серы при изучении конкретного объекта часто является спорным. В качестве примера можно привести серу баритов Чиганакского месторождения, изотопный состав которой колеблется от +28,1 до +48,7‰. При этом одни исследователи (А.Г. Кузнечевский, В.А. Сидоров, 1986) полагают, что источником серы при образовании барита служил кембрийский океанический сульфат, значение $\delta^{34}S$ которого большинством исследователей принимается близким к +27‰. Месторождение ими рассматривается как гидротермально-осадочное. Другие (В.И. Виноградов, Т.Н. Хераскова и С.Н. Петрова, 1978) считают, что источником сульфатной серы могли быть залежи сульфатных пород, которые подверглись активной сульфатредукции, и генезис месторождения ими рассматривается как инфильтрационно-метасоматический.

Автором изучено 35 образцов барита. Результаты исследований показали, что диапазон значений $\delta^{34}\text{S}$ колеблется от + 14,1 до 49,5‰. Такой разброс значений изотопного состава серы в баритах говорит о том, что в образовании баритов могли принимать участие несколько источников (магматогенная и океаническая сера). Определенная роль могла также принадлежать бактериальной сульфат-редукции. В таблице 3 приведены результаты изотопных определений сульфатной серы в баритах разных генетических групп месторождений (собственных и по литературным данным). В гидротермально-осадочных баритах значения δS^{34} колеблются от + 20,8 до + 49,5‰; гидротермальных - от +6,5 до +28,8‰; гидротермально-метасоматических – от +7,6 до + 28,9‰. Имеющиеся данные констатируют, что для гидротермально-осадочных баритов характерна более «тяжелая» сера (минимальные значения превышают 21‰), для гидротермальных - более «облегченная» (минимальные значения находятся в интервале от +6,5 до +14,1).

При изучении изотопного состава серы необходимо иметь в виду, что его определение довольно дорогостоящий метод, и при анализе результатов (которые, как правило, почти всегда имеют значительный разброс значений) достоверность выводов о происхождении барита на конкретном объекте во многом будет зависеть от того, насколько интерпретация полученных результатов сопоставима с геологическими данными, полученными по месторождению другими методами.

Большая часть рассмотренных выше признаков: текстуры и структуры баритовых агрегатов, морфология кристаллов, твердость, газово-жидкие включения, изотопный состав серы в силу присущей им конвергентности, несет противоречивую информацию, что не позволяет однозначно интерпретировать генезис оруденения.

Признаки второй группы. В барите редкоземельные элементы (РЗЭ) могут изоморфно замещать барий. Juichard и др. (1979) при изучении распределения РЗЭ в баритах различного генезиса установили, что глубоководные пластовые бариты, как и морская вода, характеризуются отношением $\text{Ce/La} < 1$, для гидротермальных - отношение Ce/La составляет > 1 .

Таблица 3 Изотопный состав серы в баритах различных типов

Генетический тип	Регион	Месторождение	δS^{34} , ‰
1	2	3	4
Гидротермально-осадочный	Кузнецкий Алатау	Толчеинское	+35,9 - +38,1
		Кутень-Булукское	+48,1 - +48,8
	Полярный Урал	Хойлинское	+21,3 - +31,3 ¹⁾
			+23,1 - +26,4
		Пальникское	+28,1 - +33,3 ¹⁾
			+28,1 - +49,2 ²⁾
	Казахстан (Прибалхашье)	Чиганакское	+28,1 - +48,7 ³⁾
			+25,5 - +48
	Казахстан (Каратау)	Карагуз	+30 - +35,23 ⁴⁾
		Миргалимсайское	+22,6 - +28,9 ⁵⁾
		Ансайское, II ленточный горизонт	+21,9 - +25,3
Гидротермальный	Кавказ	Шодфонтэн	+27 - +30,1 ⁶⁾
		Мегген	+20,8 - +26,8 ⁷⁾
		Мест-я южного склона Большого Кавказа	+6,5 - +26 ⁸⁾
		Чордское	+14,1 - +20,9
	Казахстан (Успенская зона)	Проявления Косшоки, Абжамит, Майское и др.	+9,9 - +18,4 ⁴⁾
	Казахстан (Каратау)	Проявления Огузтау, Шалбыр и др.	+12,83 - +17 ⁴⁾
	Полярный Урал	Саурейское	+8,8 - +25,5 ⁹⁾
	Япония	Куроко	+11,2 - +28,8 ¹⁰⁾
Гидротермально-метасоматический	Пай-Хой	Карское	+20 - +21,6
	Казахстан (Атасуйский рудный район)	Жайрем, Бестюбе	+7,6 - +23,3 ¹¹⁾
	Казахстан (Каратау)	Северный Кенколь	+25,5 - +28,9

Примечание: ¹⁾ Т.И. Таранина, 1981, ²⁾ В.И. Виноградов, 1980, ³⁾ В.И. Виноградов и др., 1978, ⁴⁾ В.В. Кулинич, 1990, ⁵⁾ Ю.В. Богданов и др., 1971, ⁶⁾ Dejonghe L, 1982, ⁷⁾ Buschendorf et al., 1963, ⁸⁾ Н.Е. Учамейшвили и др. 1986, ⁹⁾ Гриненко Л.Н. и др., 1981, ¹⁰⁾ Sakai H., 1957, ¹¹⁾ Замятин Н.И., Митряева Н.М., 1979 г.

Ими также было установлено, что осадочные бариты более всего обогащены Ду, гидротермальные им обеднены; для гидротермальных баритов характерна 0,5-10 разовая положительная Eu – аномалия; осадочные бариты этой характеристикой не обладают.

Барит обладает *люминесцентными свойствами* в силу того, что его состав и структура допускают вхождение в количествах 0,001-1% примесных катионов-люминогенов – редкоземельных элементов и урана. При изучении люминесцентных свойств баритов установлено, что естественная люминесценция

в баритах гидротермально-осадочного типа отсутствует, в редких случаях слабая, а в гидротермально-метасоматических – относительно сильная (Т.И. Таранина 1982). Также определено, что спектры рентгенолюминесценции осадочных баритов, как правило, не содержат других полос, кроме кислородных, а спектры баритов из гидротермалитов содержат линии примесных люминогенов (Б.С. Горобец и др., 1985, 1986).

В качестве индикатора процессов, в которых происходило формирование баритовых месторождений, могут выступать *параметры элементарной ячейки* барита. Рентгенографическим анализом были изучены особенности структуры барита из месторождений юга Сибири, образованных в условиях гидротермально-осадочного (Толчеинское и Карасугское) и гидротермального (Нижнемерасское) процессов.

Установлено (И.П. Егорова и др., 2010), что гидротермальный барит имеет меньшие размеры элементарной ячейки ($a = 8,857$; $b = 5,452$; $c = 7,145$) и соответственно меньший объем ($344,99 \text{ \AA}^3$). Повышенные значения размеров элементарной ячейки ($a = 8,880$ – $8,881$; $b = 5,454$; $c = 7,156$) характерны для гидротермально-осадочного барита и соответственно объема, у которого он возрастает до $346,60 - 346,49 \text{ \AA}^3$.

Такие признаки как: наличие и содержания РЗЭ в барите, его люминесцентные свойства, параметры элементарной ячейки дают относительно приемлемую и непротиворечивую информацию о генезисе барита. Однако объем имеющихся исследований в настоящее время не достаточен, чтобы объективно оценить степень их информативности.

Признаки третьей группы. Анализ результатов собственных исследований (проанализировано > 300 монофракций барита, отобранных из руд > 40 баритовых месторождений трех генетических типов: гидротермально-осадочного, гидротермального и гидротермально-метасоматического, расположенных в 11-и удаленных на значительные расстояния регионах) и опубликованных источников показал, что наиболее информативными являются такие типоморфные признаки барита как: Ba/Sr модуль, радиоактивность, наличие и концентрация ион радикала

SO_3^- в кристаллической структуре барита, которые позволяют однозначно интерпретировать его генезис.

Индикаторными особенностями состава барита являются соотношение (*барий-стронциевый модуль*) замещающих друг друга катионов Ba^{2+} и Sr^{2+} . Значения растворимости сульфата бария и стронция в области низких температур резко различны и сближаются, достигая равенства при повышении давления и температуры до 350°C . Этим определяются различия в содержаниях Sr в баритах, формирующихся в различных термодинамических условиях земной коры (Strubel, 1966, 1967, Sherp, 1974). Исходя из этого, бариты, образующиеся в условиях низких температур, характеризуются более низкими содержаниями стронция, чем бариты, выпавшие из горячих гидротермальных растворов.

Радиоактивность барита обусловлена присутствием урана и тория с продуктами распада. Речная вода ежегодно выносит в океан около 104 т U, который оседает в донных отложениях, переходя из них в осадочные породы. Седиментные образования (в т.ч. и бариты) могут захватывать из иловых вод некоторое количество обогащенного ураном взвешенно-коллоидного материала. При перекристаллизации и переотложении происходит «очищение» (автолизия) от посторонних компонентов, в том числе от урана и тория, причем от урана в большей степени, поскольку он более подвижен. Подвижность последнего зависит от окислительно-восстановительных условий среды, и если среда становится восстановительной, то его подвижность ограничивается. Поэтому в гидротермально-осадочных баритах, восстановительные условия для которых относительно более характерны в сравнении с гидротермальными, наблюдается относительно и повышенная радиоактивность. Для гидротермальных баритов восстановительные условия менее типичны (за исключением случаев образования комплексных барит-сульфидных месторождений), поэтому для них характерны низкие значения радиоактивности. Это обстоятельство подтверждается исследователями, изучавшими бариты в разных регионах мира: Северной Америки (Joldberg, 1969), Урала, Сибири, Южного Казахстана (Г.Г. Ахманов и др., 1977, 1985, 1988, 1990) и Центрального Казахстана (В.В. Кулинич и Л.А. Трофимова, 1990).

Парамагнитные (электронно-дырочные) центры представляют собой электроны или дырки, локализованные в дефектных позициях кристаллической структуры. Изучению парамагнитных центров в баритах посвящен целый ряд работ (А.И. Бахтин и др., 1973, Р.А. Хасанов и др., 1974, 1980, 1981, Г.Г. Ахманов и др., 1985, 1986, 1988, 1990, 2007).

А.И. Бахтин и др. (1973) установили, что парамагнитные центры и интенсивности линий и спектров ЭПР в баритах обеспечиваются, главным образом, естественной радиацией. Влияние последней приводит в начале к выбиванию электронов из электронных оболочек атомов, которые затем, двигаясь по кристаллу, могут быть захвачены диамагнитными «предцентрами» типа D_2 , D_3 , D^{-2} и др. В результате образуются парамагнитные кислородные и сульфатные ион-радикалы $O^{\cdot -}$, $SO_2^{\cdot -}$, $SO_3^{\cdot -}$, $SO_4^{\cdot -}$.

Среди кислородных и сульфатных центров наиболее контрастными являются $O^{\cdot -}$ и $SO_3^{\cdot -}$. Р.А. Хасанов и др. (1985), Г.Г. Ахманов и др. (1985, 1986, 1988, 1990, 2007) при изучении баритов целого ряда месторождений из различных регионов бывшего СССР определили, что бариты гидротермально-осадочного происхождения отличаются от гидротермальных более широким спектром электронно-дырочных центров и более высокой степенью интенсивности их проявления. Уменьшение количества кислородных и сульфатных ион-радикалов от гидротермально-осадочных баритов к гидротермальным объясняется тем, что в условиях гидротермального процесса происходит перекристаллизация вещества гораздо последовательнее и основательнее, в результате происходит сброс этих дефектов – «автолизия», в осадочном процессе он происходит медленнее.

Вышеназванные исследователи измеряли концентрацию радикалов в относительных единицах. Нами измерения концентрации ион-радикалов $O^{\cdot -}$ и $SO_3^{\cdot -}$ были проведены в абсолютных (спин/мг) единицах. При этом оказалось, что использовать для определения генезиса концентрацию кислородного радикала (в спин/мг) не представляется возможным, в силу низких (порой полностью исчезающих) значений. Таким образом, из четырех радикалов $SO_3^{\cdot -}$ более предпочтителен при определении генетической принадлежности объекта.

2. Определены количественные параметры (диапазон значений) типоморфных признаков высокой степени информативности: Ba/Sr модуля, радиоактивности, концентрации ион-радикала SO_3^- для баритов трех промышленно значимых генетических типов месторождений.

В мономинеральных фракциях барита были определены: содержания бария и стронция (89 проб) и вычислен барий-стронциевый модуль (Ba/Sr), радиоактивность (в $\text{п} \cdot 10^{-4}\%$ экв.У) (103 пробы), концентрация ион-радикала (в $\text{п} \cdot 10^{14}$ спин/мг) (107 проб). По трем выборкам рассчитаны их статистические параметры: минимальное, максимальное и среднее арифметическое значения, дисперсия, ошибка среднего арифметического, минимальный объем выборки. (Табл.4).

Таблица 4. Результаты математической статистической обработки

Статистические параметры	Генетический тип месторождения*								
	Г	Г-М	Г-О	Г	Г-М	Г-О	Г	Г-М	Г-О
	Типоморфные признаки барита								
	Барий-стронциевый модуль			Радиоактивность α -акт. $\text{п} \cdot 10^{-4}$ экв.У			Концентрация ион-радикала SO_3^- $\text{п} \cdot 10^{14}$ сп/мг		
Выборка, n	25	21	43	23	16	56	33	12	49
Минимальное значение, \bar{x}_{\min}	10,05	32,99	107,89	~ 0	0,2	1,0	0	1,44	13,5
Максимальное значение, \bar{x}_{\max}	69,14	153,94	895	0,7	1,1	9,9	6,84	24,2	254
Среднее арифметическое, \bar{x}	39,87	74,97	365,62	0,27	0,78	3,61	1,28	8,48	92,08
Дисперсия, S^2_x	288,9	1276,23	58035,11	0,05	0,086	6,114	3,23	55,37	6251,4
Ошибка среднего арифметического, $S_{\bar{x}}$	0,68	1,7	5,6	0,01	0,018	0,04	0,05	0,62	1,61
Минимальный объем выборки, N	$N_{Г-Г-М} = 5$			$N_{Г-Г-М} = 4$			$N_{Г-Г-М} = 3$		
	$N_{Г-М-Г-О} = 4$			$N_{Г-М-Г-О} = 5$			$N_{Г-М-Г-О} = 6$		
	$N_{Г-Г-О} = 3$			$N_{Г-Г-О} = 3$			$N_{Г-Г-О} = 4$		
Т – критерий Стьюдента	$T_{Г-Г-М} = 4,4$			$T_{Г-Г-М} = 6,2$			$T_{Г-Г-М} = 5,2$		
	$T_{Г-М-Г-О} = 5,5$			$T_{Г-М-Г-О} = 4,5$			$T_{Г-М-Г-О} = 3,6$		
	$T_{Г-Г-О} = 6,7$			$T_{Г-Г-О} = 6,6$			$T_{Г-Г-О} = 6,6$		

* Генетический тип месторождения: Г – гидротермальный, Г-М – гидротермально-метасоматический; Г-О – гидротермально-осадочный.

Критерий Стьюдента позволил произвести оценку степени различия вычисленных средних значений каждого признака (попарно). Была проведена проверка гипотезы о равенстве математических ожиданий двух нормальных случайных величин (СВ) при неизвестных дисперсиях. Наблюдаемые значения Т-

критерия Стьюдента (табл. 4) находятся в критической области на любом уровне значимости ($\alpha < 0,001$). Нулевые гипотезы ($H_0: \bar{x}_r = \bar{x}_{r-m}$, $H_0: \bar{x}_{r-m} = \bar{x}_{r-o}$, $H_0: \bar{x}_r = \bar{x}_{r-o}$) отвергаются. Во всех трех выборках средние величины барий-стронциевого модуля, радиоактивности и концентрации ион-радикала существенно различаются.

Полученные результаты по распределению названных признаков для баритов различных генетических типов позволили выявить следующую закономерность: количественные параметры признаков высокой степени информативности возрастают в ряду (рис.1-3):

гидротермальные – гидротермально-метасоматические – гидротермально-осадочные: (средние значения в ряду генетических типов):

- Ba / Sr модуль: 39,87 – 74,97 – 365,62;
- Радиоактивность (α -акт. п · 10⁻⁴% в экв. U): 0,27 – 0,78 – 3,61;
- Концентрация ион-радикала SO₃⁻ (п · 10¹⁴ сп/мг): 1,28 – 8,48 – 92,08.

3. Количественные параметры типоморфных признаков высокой степени информативности: Ba/Sr модуля, радиоактивности, концентрации ион-радикала SO₃⁻ для баритов одного генезиса различны для разных провинций, в чем проявляется индивидуальность геологического развития регионов и проходивших в них процессов рудообразования, но они подчиняются общей закономерности – возрастанию в ряду: гидротермальные – гидротермально-метасоматические – гидротермально-осадочные бариты.

При изучении баритов из руд месторождений, расположенных в разных регионах, установлено, что для каждого региона характерен свой диапазон значений барий-стронциевого модуля, радиоактивности и концентрации ион-радикала SO₃⁻ (Табл. 5), что обусловлено различиями геологического строения и особенностями баритообразования в конкретных регионах.

Содержание стронция в карбонатных породах в 2 раза выше, чем в терригенных (по данным А.А. Беуса кларк Sr в сланцах составляет $3,0 \cdot 10^{-2}\%$, в карбонатных породах - $6,1 \cdot 10^{-2}\%$).

Рис. 1

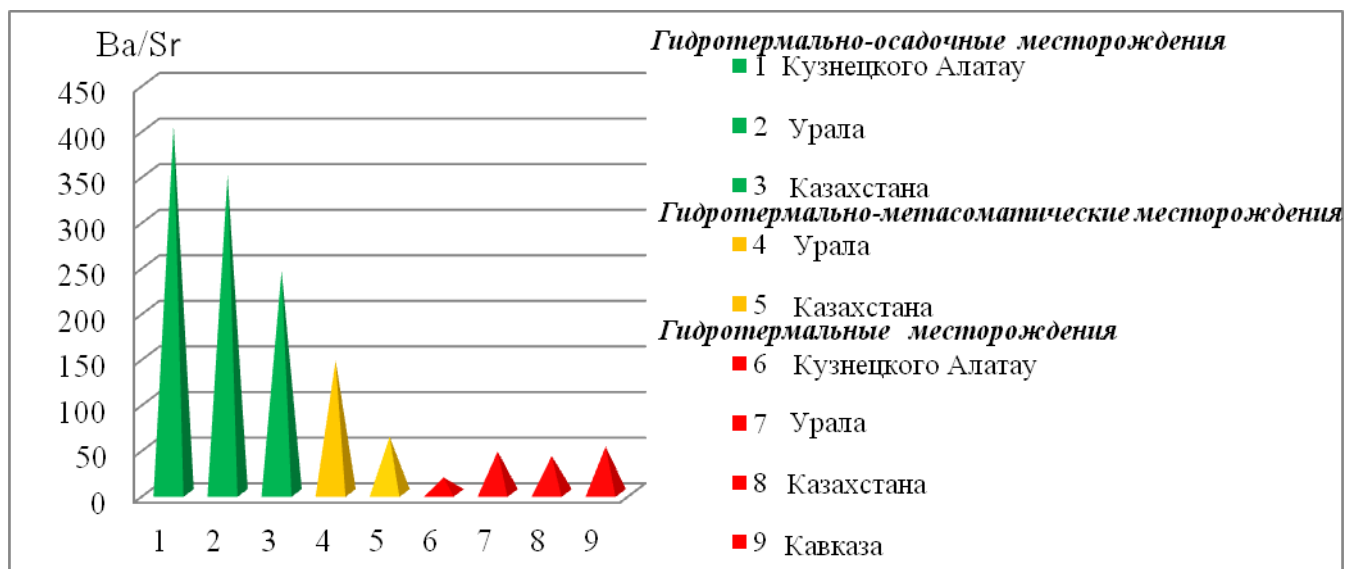


Рис. 2

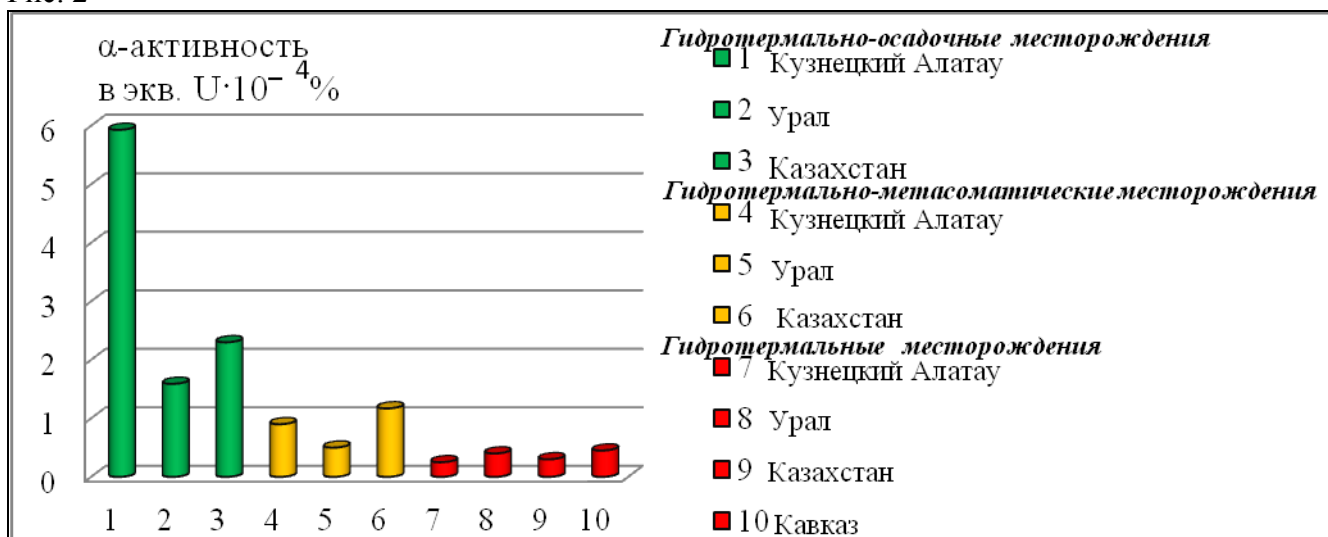
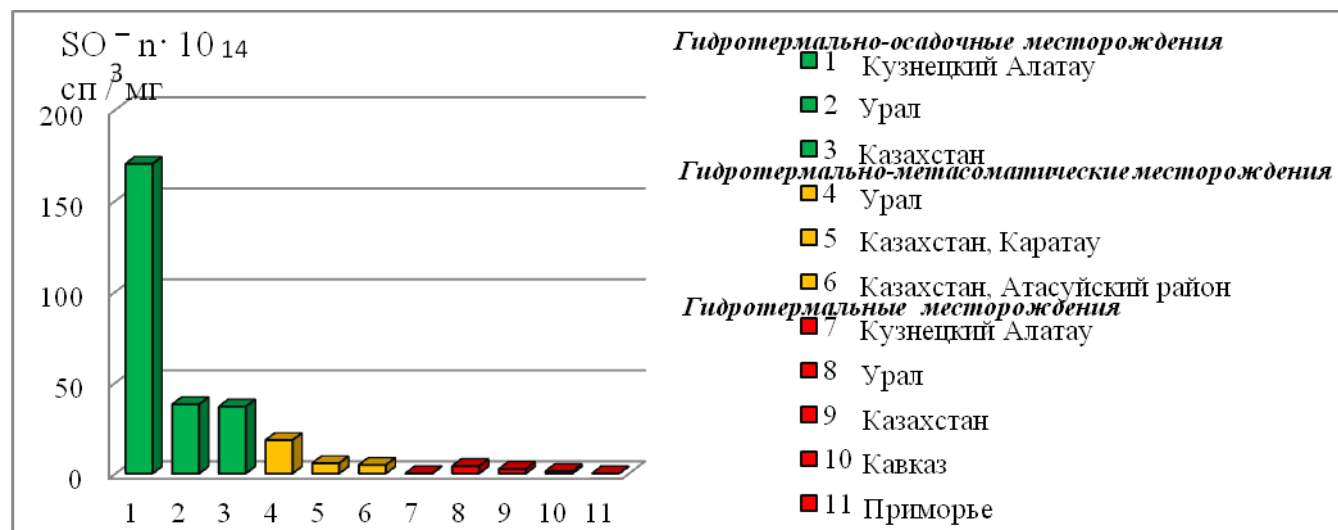


Рис. 3



Этим фактом можно объяснить, почему для гидротермально-осадочных баритов Каратау характерны максимальные содержания стронция (минимальные значения Ba/Sr модуля) по сравнению с его значениями для баритов аналогичного генезиса Кузнецкого Алатау, Урала, Прибалхашья.

Баритовое оруденение гидротермально-осадочного типа в Каратау пространственно связано с терригенно-карбонатной формацией верхнего девона-среднего карбона, располагаясь в биресекской фации кремнисто-доломитово-известняковой подформации фамена, для которой характерны повышенные содержания бария и стронция (В.В. Кулинич, 1990 г.). Для гидротермально-осадочных месторождений Кузнецкого Алатау, Урала и Прибалхашья вмещающими являются кремнисто-сланцевые комплексы, для которых содержание стронция не превышает кларковых значений.

Гидротермально-осадочные бариты Кузнецкого Алатау характеризуются наибольшими значениями радиоактивности по сравнению с радиоактивностью баритов аналогичного генезиса на Урале и в Казахстане. Это обусловлено физико-химическими особенностями осадконакопления, имевшими место в рифейское время, к отложениям которого приурочено оруденение. На территории Кузнецкого Алатау известны геологические образования, характеризующиеся устойчиво повышенным содержанием урана. Среди осадочных образований таковыми являются углеродистые, кремнистые и глинистые сланцы и фосфатоносные карбонатные породы (сорнинские отложения, вмещающие крупные гидротермально-осадочные месторождения барита), в которых содержание урана в отдельных горизонтах колеблется от 4 до 200 г/т.

Повышенная радиоактивность, по-видимому, обуславливает и максимальные значения концентрации ион-радикала SO_3^- для гидротермально-осадочных баритов этого региона, поскольку естественная радиация является одной из главных причин возникновения в кристаллической структуре барита различных парамагнитных центров, и в частности, SO_3^- .

Таблица 5

Типоморфные признаки баритов

Генетический тип месторождений	Регион Месторождение	Характеристика барита	Min-Max $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$		
			Ba/Sr	α -акт. 10^{-4} экв. U	$\text{SO}_3 \cdot \text{n} \cdot 10^{14}$ сп/мг
1	2	3	5	6	4
Гидротермальный	<u>Кузнецкий Алатау:</u> Немир, Улукерет, Казановское, Чапсордакское, Таптан-Туразы, Верхнеербинское	Белый до розового средне-крупнозернистый, метакolloидный	10,5-40,89	0,15-0,5	~0-0,23
	<u>Урал:</u> Мусогатка, Николаевское, Айдырлинское, Екатерининское, Эбитинское, Кусьинское	Белый, розовый, средне-крупнозернистый	29,1-66,54	~0-0,7	3,5-4,4
	<u>Казахстан Каратау:</u> Хатын-Камал	Белый крупно-гигантозернистый	33,0-48,53	0,5	1,98-3,28
	<u>Б.Кавказ:</u> Чордское, Човдарское	Белый, розовый, средне-крупнозернистый	29,24-69,14	0,2-0,5	0,42-2,15
	<u>Приморье:</u> Туманный перевал	Белый, светло-серый, разнoзернистый	38,57-46,73	н.д.	Сл.-0,02
			$\frac{10,5 - 69,14}{39,87 \pm 0,68}$	$\frac{\sim 0 - 0,7}{0,27 \pm 0,01}$	$\frac{\sim 0 - 4,4}{1,28 \pm 0,05}$
Гидротермально-метасоматический	<u>Урал:</u> Карское, Войшорское, Поур-Кеу, Собское	Светло-серый до белого, мелкозернистый	72,2-153,94	0,4	9,1-24,2
	<u>Казахстан Каратау:</u> Ансай до горизонт, Кенколь, Акшешек	Белый, разнoзернистый	32,99-128,89	0,95-1,1	1,6-8,83
	<u>Казахстан Атасуйский рудный район:</u> Жайрем, Жуманай, Жалаир, Бестюбе, Кентобе, Карагайлы	Серый до белого, разнoзернистый, гранобластический	47,14-50,9	0,2-0,8	1,44-8,98
			$\frac{32,99 - 153,94}{74,97 \pm 1,7}$	$\frac{0,2 - 1,1}{0,78 \pm 0,018}$	$\frac{1,44 - 24,2}{8,48 \pm 0,62}$
Гидротермально-осадочный	<u>Кузнецкий Алатау:</u> Толчеинское, Кутень-Булуksкое, Колбалыкское, Юбилейное	Серый, темно-серый до черного тонко-мелкозернистый, разнoзернистый в виде кристаллов и их сростков в кремнисто-глинистых и глинисто-карбонатных породах	132,4-895	2,2-9,9	82,3-254
	<u>Урал:</u> Хойлинское, Пальникское, Акьюловское	Серый, темно-серый до черного тонко-мелкозернистый, разнoзернистый, радиально-лучистый, в виде кристаллов и их сростков в черных кремнистых породах	147,1-837,1	0,8-4,4	20-73,6
	<u>Казахстан Прибалхашье:</u> Чиганакское	Серый, темно-серый до черного пластовый и конкреционный, в виде сростков в красных кремнях	242,8-415	1,1-6,0	19,2-39,31
	<u>Казахстан Каратау:</u> Ансайское II ленточный горизонт	Серый, тонко-, мелкозернистый пластовый	107,89-141,6	1,0-3,2	13,5-20,4
			$\frac{107,89 - 895}{365,62 \pm 5,6}$	$\frac{1,0 - 9,9}{3,61 \pm 0,04}$	$\frac{13,5 - 254}{92,08 \pm 1,61}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые выполнена сравнительная оценка информативности типоморфных признаков барита для определения генезиса оруденения. По степени информативности выделены признаки:

- малоинформативные (текстуры и структуры баритовых руд, морфология кристаллов, твердость, изотопный состав серы, ГЖВ);
- высокоинформативные (барий-стронциевый модуль, радиоактивность и концентрация ион-радикала SO_3^-).

Отдельную группу составляют такие признаки как: наличие и концентрации в барите РЗЭ, люминесцентные свойства, параметры элементарной ячейки. Объем имеющихся исследований по ним в настоящее время недостаточен, чтобы объективно определить степень их информативности.

Рассчитаны количественные параметры (диапазон значений) признаков высокой степени информативности. Баритам гидротермально-осадочного генезиса присущи высокие значения этих признаков, гидротермальным - низкие. Числовые характеристики для гидротермально-метасоматических баритов зависят от степени преобразования первичного материала (субстрата).

Установлено, что для каждой провинции диапазон значений этих признаков различен, что предопределено особенностями геологического строения регионов.

Предлагается высокоинформативные признаки (барий-стронциевый модуль, радиоактивность и концентрация ион-радикала SO_3^-) использовать в качестве минералогических поисковых критериев. Особенно они могут быть полезны для определения ожидаемого типа баритового оруденения при картировании «закрытых» или «полузакрытых» территорий, когда барит наблюдается лишь в элювиально-делювиальных развалах, аллювии или в карстовых образованиях.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Атлас руд баритовых месторождений / Г.Г. Ахманов, Н.Г.Васильев, Т.А. Булаткина, И.П.Егорова. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2000. - 140 с.
2. Ахманов Г.Г., Егорова И.П. Информативность типоморфных свойств барита при определении генезиса оруденения // Материалы научно-практической

конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых – состояние и перспективы». – М., 2011. – С.16-17.

3. Бариты Кузнецкого Алатау / Н.Н. Ведерников, Г.Г. Ахманов, А.Г. Арчинеков, Т.А. Булаткина, И.П. Егорова, Р.А. Басыров // Геол., методы поисков, развед. и оценки м-ний неметалл. полезн. ископаемых: Обзор / ВИЭМС МГП «Геоинформмарк». - М., 1990. - 50 с.

4. Геолого-поисковые модели и прогноз новых сырьевых баз барита / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова, Т.А. Булаткина, Н.Г. Васильев // Разведка и охрана недр. - 2009. - № 10. - С.8-12 (журнал ВАК).

5. Егорова И.П., Ахманов Г.Г., Булаткина Т.А. Типоморфные особенности барита // Отечественная геология. - 2010. - № 2. - С.3-8 (журнал ВАК).

6. Егорова И.П., Ахманов Г.Г., Булаткина Т.А. Типоморфные особенности барита // Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М., 2011. – С.112.

7. Исследование баритовых руд комплексом физико-химических методов (методические рекомендации) / Т.З. Лыгина, Г.Г. Ахманов, В.В. Власов, Н.Г. Васильев, И.П. Егорова [и др.] . – Казань, 2004. - 79 с.

8. Новый тип месторождений барита Хакасии / Г.Г. Ахманов, Н.Г. Васильев, И.П. Егорова, Ф.Н. Ходаковский, Е.С. Единцев. // Отечественная геология. - 2007. - №3. - С. 65-70 (журнал ВАК).

9. Структурные особенности барита как индикатор процесса формирования различных генетических типов баритовых месторождений / И.П. Егорова, Н.И. Наумкина, Г.Г. Ахманов, В.В. Власов // Материалы XI Съезда Российского минералогического общества «Современная минералогия: от теории к практике». - СПб., 2010. - С.181-183.

Приложение 1

Характеристика баритовых месторождений

Генетический тип	Вмещающие породы	Форма и размеры рудных тел	Характерные парагенетические ассоциации минералов (парагенезисы)	Примеры месторождений
Гидротермальный	Гранитоиды, кислые эффузивы и их туфы и туфобрекчии; Порфировые андезиты с линзами туфов и порфировые долериты, порфировые трахиты и их туфы; Андезиты, андезибазальты и их туфы; Туфобрекчии и туфы порфировых андезитов, кварцево-аркозовые песчаники, порфировые андезиты; Известняки	Жильные тела, зоны брекчирования, рудные столбы. Размеры по простиранию – десятки, сотни метров, по падению до 50 – 100 м, мощность – десятки см, первые м, в раздувах до 15 м	Кварц-баритовая, кварц-кальцит-баритовая, барит-кальцитовая, баритовая мономинеральная, баритовая сульфидсодержащая (сфалерит, галенит, халькопирит), барит-кварцевая	Кузнецкий Алатау: Немир, Улухерет, Верхнеербинское, Чапсордакское, Топтан-Туразы, Казановское; Южный Урал: Мусогатка, Николаевское, Эбитинское, Екатерининское, Кусинское; Приморье: Туманный Перевал; Кавказ: Чордское, Човдарское; Южный Казахстан: Хатын-Камальское; Рудные горы Германии: Бруддебра; Вьетнам: Баритовое
Гидротермально-метасоматический	Известняки, доломиты и их переходные разновидности; Углисто-глинисто-кремнисто-карбонатные породы	Линзо- и пластообразные тела, реже – столбообразные тела и зоны прожилкования. Размеры: по простиранию до 1600 м, по падению до 800 м, мощность от 2-3 до 100 м.	Кальцит-баритовая, кварц-кальцит-баритовая, кварц-кальцит-целестин-баритовая, кварц-баритовая, баритовая сульфидсодержащая (сфалерит, галенит, халькопирит), барит-гематитовая, кварц-доломит-кальцит-баритовая	Пай-Хой: Карское; Полярный Урал: Войшорское, Поур-Кеу; Южный Казахстан: Северный Кенколь, Акшешек; Центральный Казахстан: Жайремское, Бестюбе, Ушкатын, Жуманай, Жалаир, Карагайлы
Гидротермально-осадочный	Глинистые, глинисто-кремнистые слабо углеродистые сланцы, кремнистые мергели; Углеродсодержащие кремнисто-глинистые сланцы; Яшмы, яшмокварциты, кремнистые сланцы; Доломиты, известняки	Согласные пластовые и линзовидные залежи Размеры: по простиранию до 2 км, по падению до 500 м, средняя мощность 3 – 15 м	Кварц-баритовая, кальцит-баритовая, кальцит-доломит-баритовая, доломит-кальцит-баритовая, кварц-кальцит-баритовая, кварц-гидрослюдисто-баритовая, доломит-кварц-гидрослюдисто-баритовая, кальцит-доломит-баритовая сульфидсодержащая (пирит), халцедон-кварц-баритовая, халцедон-кварц-серицит-баритовая	Кузнецкий Алатау: Толчинское, Кутень-Булуksкое, Колбалыкское, Юбилейное, Тырдяновское; Урал: Хойлинское, Пальникское, Акьюловское; Южный Казахстан: Чиганакское, Карагуз, Ансайское (II ленточный горизонт)

Типовые месторождения барита

Месторождение Генезис	Вмещающие породы	Форма и размер рудных тел	Минеральный состав руд	Текстура руд	Структура руд
Немир Гидротермальный	Андезиты, порфировые андезиты, риолиты, риолитовые порфиры и их пирокластические разности (большесырская свита нижнего девона)	Рудная зона шириной около 40 м при общей мощности 30 м насыщена беспорядочно ориентированными прожилками барита мощностью до 4 см	<u>Главные:</u> барит, кварц <u>Второстепенные:</u> кальцит, халцедон, серицит, полевые шпаты, гематит, минералы группы лимонита, целестин, малахит	Штокверковая, брекчиевая, брекчиевидная, массивная	Разнозернистая, участками ориентированнозернистая
Северный Кенколь Гидротермально-метасоматический	Пелитоморфные известняки, доломитистые известняки и известковистые доломиты и их брекчии, доломиты, мергелистые доломиты (доломитовый горизонт фаменского яруса верхнего девона)	Пластовые и линзовидные субсогласно залегающие тела мощностью 0,4-0,8 м при протяженности до 300 м и более	<u>Главные:</u> барит, кальцит <u>Второстепенные:</u> кварц, халцедон, пирит, псиломелан, минералы группы лимонита	Линзовидно-полосчатая, унаследованная полосчатая, брекчиевая, брекчиевидная, прожилкообразная	Тонко-, мелкозернистая, участками ориентированнозернистая, гранобластическая, коррозионная
Чиганакское Гидротермально-осадочный	Яшмокварциты, кремнисто-глинистые сланцы (бурубайтальская свита кембрия-нижнего ордовика)	Согласно залегающее пластовое тело протяженностью до 2000 м, разбитое на три залежи. Длина залежей от 350 до 820 м, мощность от 2,3 до 25 м.	<u>Главные:</u> барит, кварц <u>Второстепенные:</u> халцедон, кальцит, пирит, гематит, минералы группы лимонита, псиломелан, хлорит, каолинит, монтмориллонит, серицит	Массивная, полосчатая (грубополосчатая, тонкополосчатая, микрополосчатая), конкреционная, брекчиевая, прожилковая	Разнозернистая, гипидиоморфнозернистая, радиально-лучистая, сферолитовая, коррозионная